

Simposium I Jaringan Perguruan Tinggi untuk Pembangunan Infrastruktur Indonesia, 2016

Desain Ipal Komunal Limbah Domestik Perumahan Sukolilo Dian Regency dengan Teknologi Constructed Wetland

Dandy Prakoso*, Bieby Voijant Tangahu*

*Environmental Engineering Department, Faculty Civil of Engineering and planning, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111, Indonesia

Abstract

Constructed wetland merupakan sistem pengolahan terencana atau terkontrol yang telah didesain dan dibangun menggunakan proses alami yang melibatkan vegetasi, media, dan mikroorganisme untuk mengolah air limbah domestik. *Constructed wetland* cocok untuk diterapkan di perumahan, sehingga teknologi ini cocok menjadi alternatif pengolahan limbah domestik. Perumahan Sukolilo Dian Regency (SDR) merupakan salah satu perumahan yang belum memiliki IPAL untuk mengolah *greywater*, sehingga teknologi ini bisa diterapkan di perumahan ini untuk meningkatkan kualitas sanitasi lingkungan. Perencanaan sistem IPAL di Perumahan SDR mempertimbangkan aspek kuantitas dan kualitas air limbah domestik yang dihasilkan setiap harinya. Kualitas air limbah domestik menunjukkan nilai COD 320 mg/L; BOD 123 mg/L; dan TSS 60 mg/L. Sedangkan kuantitas air limbah menunjukkan 453 m³/hari. Kemudian dilakukan analisis perhitungan masing-masing unit IPAL yang akan direncanakan di perumahan SDR agar sesuai dengan kriteria baku mutu pergub jatim no. 72 tahun 2013. Sistem IPAL direncanakan terdiri dari unit bak ekualisasi, *Subsurface Flow Constructed Wetland* dengan tanaman *cattail*, dan kolam indikator. Hasil perencanaan menunjukkan efisiensi pengolahan seluruh sistem untuk COD, BOD, dan TSS masing-masing sebesar 86%, 80%, dan 46%, dengan efisiensi tersebut *effluent* limbah dari IPAL telah memenuhi baku mutu yang ditentukan. Biaya investasi seluruh sistem *constructed wetland* diperkirakan sebesar Rp 5.926.417.781. Perencanaan ini menghasilkan panduan untuk operasional dan perawatan.

Kata kunci: constructed wetland; cattail sp; greywater; IPAL perumahan

I. PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk di Kota Surabaya memberikan dampak terhadap penurunan daya dukung lingkungan. Salah satu dampak dari pertumbuhan penduduk ini adalah meningkatnya jumlah air limbah domestik. Hal ini membuat perlunya dibangun Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Kondisi lingkungan di Surabaya membuat pengolahan air limbah domestik sebaiknya dilakukan secara setempat. Pengelolaan air limbah domestik secara setempat menggunakan teknologi lebih sederhana dan biaya yang lebih rendah dibandingkan dengan sistem terpusat [1]. Pengelolaan air limbah domestik secara setempat cocok diterapkan untuk kawasan perumahan.

Perumahan Sukolilo Dian Regency merupakan salah satu perumahan di Kota Surabaya. Limbah *blackwater* di perumahan ini diolah dengan tangki septik yang terdapat di masing-masing rumah, sedangkan limbah *greywater* dibuang langsung ke selokan. Menurut UU No. 32 Tahun 2009, setiap orang diperbolehkan membuang limbah ke media lingkungan hidup dengan syarat memenuhi baku mutu lingkungan hidup. Dari latar belakang tersebut maka diperlukan perencanaan unit Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di Perumahan Sukolilo Dian Regency.

Teknologi *constructed wetland* dapat diterapkan sebagai teknologi pengolahan limbah *greywater* di perumahan atau domestik [2]. *Constructed wetland* merupakan sistem pengolahan terencana atau terkontrol yang telah didesain dan dibangun menggunakan proses alami yang melibatkan vegetasi, media, dan mikroorganisme untuk mengolah air limbah [3]. Prinsip pengolahan air limbah dengan *constructed wetland* dengan mengalirkan air limbah di bawah media sehingga limbah akan diserap melalui akar tanaman. *Constructed wetland* merupakan metode pengolahan air limbah yang mudah dalam perawatan dan memiliki nilai efisiensi yang cukup tinggi [4]. *Constructed wetland* dapat mendegradasi zat organik, nitrogen, dan *phosphorus* secara serentak [5], sehingga *constructed wetland* mampu yang mengurangi kandungan nutrisi secara signifikan.

Penggunaan *constructed wetland* dapat menjadi alternatif pengolahan air limbah domestik skala perumahan. Keuntungan yang diperoleh dari sistem ini adalah memperoleh nilai efisiensi yang tinggi dari pengolahan limbah domestik skala perumahan dan memperoleh desain IPAL komunal yang memiliki nilai estetika.

II. GAMBARAN UMUM WILAYAH PERENCANAAN

Perencanaan ini dilakukan di Perumahan Sukolilo Dian Regency yang terletak di Surabaya Timur, tepatnya berada di Jalan Sukolilo Kasih no. 20 Kelurahan Keputih Kecamatan Sukolilo. Perumahan ini terdiri atas rumah berlantai 1 dan 2 lantai dengan rata-rata luas tanah setiap rumah sekitar 90 m² hingga 200 m². Setiap rumah di Perumahan Sukolilo Dian Regency memiliki *septic tank* untuk mengolah limbah *blackwater*. Air *effluent* dari *septic tank* langsung di buang ke selokan/ drainase bersama dengan *greywater*. IPAL dengan teknologi *constructed wetland* akan didesain di lahan kosong dengan luas lahan tersedia 2100 m².

* Dandy Prakoso. Tel.: +62-857-14175906

E-mail address: dandyprakoso3@gmail.com

III. URAIAN PERENCANAAN

A. Penentuan Jumlah Sampel

Sampel merupakan banyaknya masyarakat dari populasi yang digunakan sebagai sampel. Tujuan dari penentuan jumlah sampel untuk mendapatkan hasil yang representatif dari suatu populasi. Penentuan jumlah sampel dapat dihitung berdasarkan persamaan *Slovin*:

$$n = \frac{n}{1 + (Px D)} \quad (1)$$

Dimana:

n = Jumlah sampel

P = Jumlah populasi

D = Standar deviasi

B. Perhitungan Unit Constructed Wetland

Dimensi unit *constructed wetland* dipengaruhi oleh faktor utama yaitu seberapa besar efisiensi pengolahan yang diinginkan. Efisiensi dipengaruhi oleh faktor utama yaitu seberapa lama air limbah berada pada unit *constructed wetland* atau biasa disebut dengan waktu tinggal hidraulik (HRT).

Menurut [6] perhitungan waktu detensi di reaktor *constructed wetland* dengan pendekatan removal BOD/COD dan temperatur, dengan rumus sebagai berikut:

- Efisiensi pengolahan BOD

$$R_{BOD} = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \quad (2)$$

Dimana: R_{BOD} = Efisiensi pengolahan BOD
 C_{in} = Konsentrasi *influent* (mg/L)
 C_{out} = Konsentrasi *effluent* (mg/L)

- Waktu detensi pengolahan BOD

$$R_{BOD} = \frac{HRT}{(22,8/T) + HRT} \quad (3)$$

Dimana: HRT = *Hydraulic Residence Time* (hari)
 T = *Temperature* ($^{\circ}\text{C}$)

- Efisiensi pengolahan COD

$$R_{COD} = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \quad (4)$$

Dimana: R_{COD} = Efisiensi pengolahan COD
 C_{in} = Konsentrasi *influent* (mg/L)
 C_{out} = Konsentrasi *effluent* (mg/L)

- Waktu detensi pengolahan COD

$$R_{COD} = \frac{HRT}{(15/T) + HRT} \quad (5)$$

Dimana: HRT = *Hydraulic Residence Time* (hari)
 T = *Temperature* ($^{\circ}\text{C}$)

C. Perhitungan Evapotranspirasi dan Presipitasi

Pada unit *SSFCW* terjadi reaksi evapotranspirasi yang mengakibatkan berkurangnya kuantitas air dalam unit ini. Berkurangnya kuantitas air dikarenakan tanaman memerlukan air dalam jumlah tertentu untuk reaksi fotosintesis. Besarnya nilai evapotranspirasi suatu tanaman dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Q_e = E \times A_s \quad (6)$$

Dimana:

Q_e = debit akibat evapotranspirasi (m^3/hari)

E = laju evapotranspirasi tanaman (mm/hari)

As = luas permukaan tanaman (m²)

Pada saat hujan atau presipitasi perhitungan peningkatan debit pada unit *SSFCW* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Q_p = P \times As \quad (7)$$

Dimana:

Q_p = debit akibat presipitasi (m³/hari)

P = hujan harian maksimum (mm/hari)

As = luas permukaan tanaman (m²)

D. Perhitungan Kehilangan Tekan

- Perhitungan *headloss* pada pipa bertekanan dihitung menggunakan rumus *Hazen-William*, dengan perhitungan sebagai berikut:

$$hf = \left[\frac{Q}{0,2785 \cdot C \cdot D^{2,63}} \right]^{1,85} L \quad (8)$$

Dimana: hf = *headloss* (m)

Q = debit (m³/s)

C = koefisien kekasaran

L = panjang pipa (m)

- Perhitungan *headloss* pada saluran terbuka dihitung menggunakan rumus manning, dengan perhitungan sebagai berikut:

$$S = \left[\frac{nvP}{A^{2/3}} \right]^2 \quad (9)$$

Dimana : S = slope

A = luas penampang basah (m²)

n = koefisien kekasaran

P = keliling basah (m)

v = kecepatan (m/s)

- *Headloss* pada aksesoris dihitung menggunakan rumus *Hazen-William*, dengan perhitungan sebagai berikut:

$$hf = K \left[\frac{kv^2}{2g} \right] \quad (10)$$

Dimana:

hf = *headloss* (m)

K = jumlah aksesoris

v = kecepatan di dalam aksesoris (m/s)

g = percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

- *Headloss* pada media *SSFCW* dihitung dengan rumus sebagai berikut [7]:

$$hf = \frac{Q \cdot As}{K \cdot h \cdot W^2} \quad (11)$$

Dimana:

hf = *headloss* (m)

Q = debit (m³/s)

As = Permukaan *constructed wetland* (m²)

K = konduktifitas hidraulik (m/d)

W = lebar *constructed wetland* (m)

h = kedalaman muka air (m)

E. Perhitungan Porositas Media

Perhitungan porositas media bertujuan untuk mengetahui volume yang dibutuhkan media dalam suatu unit IPAL. Adapun perhitungan porositas media sebagai [8]:

$$n = \frac{V_p}{V} \times 100\% \quad (12)$$

Dimana: n = Porositas (%)

V_p = Volume poros (m³)

V = Volume total media (m³)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kualitas Air Limbah

Kualitas air limbah domestik di Perumahan Sukolilo Dian Regency diketahui dari hasil analisis sampel air limbah yang diambil di lapangan. Sampling dilakukan sebanyak 4 kali untuk mengetahui tingkat fluktuasi kualitas air limbah tersebut. Metode sampling yang digunakan adalah *grab sampling* dan pengumpulan sampel dilakukan secara *conposite*. Hasil analisis kualitas air limbah sebagai berikut:

TSS = 60 mg/L
COD = 320 mg/L
BOD = 123 mg/L

B. Kuantitas Air Limbah

Kuantitas air limbah domestik diperoleh dari sampling penggunaan air bersih (PDAM) warga. Pemakaian air PDAM diketahui dari nomor pelanggan tiap rumah untuk kemudian di cek melalui website PDAM. Jumlah responden yang ditentukan dengan persamaan (1) dan diperoleh hasil **35** responden sebagai sampel.

Selanjutnya diketahui jumlah responden yang diperlukan dapat diketahui berapa kuantitas pemakaian air PDAM m³/org.hari. Diperoleh hasil perhitungan pemakaian air PDAM rata-rata sebesar 0,190 m³/org.hari. Selanjutnya kuantitas air limbah domestik diketahui 80% dari penggunaan air PDAM berdasarkan survey langsung di lapangan, dan diketahui debit air limbah harian sebesar 0,151 m³/org.hari. Perumahan SDR memiliki kapasitas maksimal 600 KK dan setiap KK terdiri atas 5 orang, sehingga bisa diperoleh total debit sebagai berikut :

Debit harian = 0,151 m³/org.hari x 3000 orang
= **453 m³/ hari**

C. Analisis Perencanaan dan Kesenjangan

Perencanaan IPAL di Perumahan Sukolilo Dian Regency direncanakan menggunakan *Subsurface Flow Constructed Wetland (SSFCW)* dengan berbagai pertimbangan aspek teknis dan finansial. Beberapa kelebihan pengolahan air limbah domestik menggunakan *Subsurface Flow Constructed Wetland (SSFCW)* dibandingkan dengan unit lain seperti *Free Water Surface Constructed Wetland (FWSCW)* lain dapat dilihat pada Tabel 1.

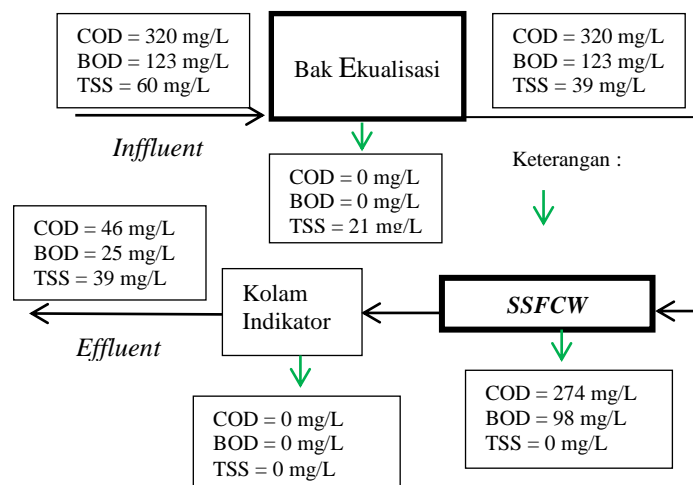
Tabel 1. Alternatif perbandingan unit IPAL

SSFCW	FWSCW
<ul style="list-style-type: none"> - Mudah dan murah dalam operasional - Jenis tanaman mudah diganti-ganti - Tidak menimbulkan bau dan sarang nyamuk karena tertutup media - Pengaliran air limbah dibawah media memberikan proteksi termal yang lebih baik terhadap fluktuasi suhu 	<ul style="list-style-type: none"> - Tidak adanya media atas penyangga tanaman, membuat fluktuasi termal pada air limbah menjadi tinggi - Berpotensi menimbulkan bau dan sarang nyamuk - Peletakan tanaman mudah berubah akibat aliran air

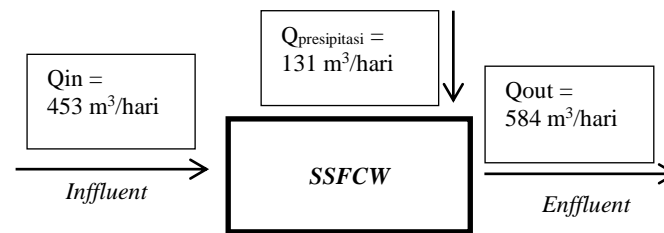
Sumber: Wallace, 2006

Perbandingan di atas menunjukkan tipe *Subsurface Flow Constructed Wetland (SSFCW)* lebih cocok diterapkan dalam perencanaan ini. Kesenjangan massa polutan dari seluruh pengolahan di sistem IPAL dapat dilihat pada Gambar 1.

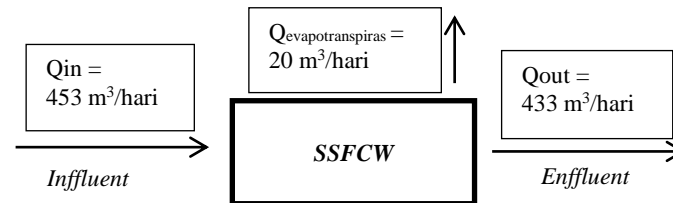
Pada unit *SSFCW* terjadi reaksi evapotranspirasi yang mengakibatkan berkurangnya kuantitas air dalam unit ini, hal ini dikarenakan tanaman memerlukan air dalam jumlah tertentu untuk reaksi fotosintesis. Sedangkan, pada saat hujan atau presipitasi perhitungan peningkatan debit akibat presipitasi pada unit *SSFCW*. Kesenjangan massa air akibat pengaruh presipitasi dan evapotranspirasi dihitung dengan rumus pada persamaan dan ditampilkan pada Gambar 2 dan 3.



Gambar 1. Mass balance polutan dalam sistem IPAL



Gambar 2. Water balance presipitasi



Gambar 3. Water balance evapotranspirasi

D. Perencanaan Unit-unit Pengolah Air Limbah

Perencanaan IPAL terdiri atas bak ekualisasi, bangunan *Subsurface Flow Constructed Wetland*, bak penampung akhir, dan sistem pengaliran.

1) Perencanaan Pompa Pengumpan

Pompa pengumpan digunakan untuk menaikkan elevasi muka air dari *manhole* terakhir Sistem Penyaluran Air Limbah (SPAL) ke bak ekualisasi di sistem IPAL, sistem pemompaan dapat dilihat pada Gambar 4.

Berdasarkan gambar dapat diketahui kebutuhan pemompaan dari sumur pengumpul ke bak ekualisasi, sebagai berikut:

Total kebutuhan *head* = 4 m

Dari perhitungan tersebut diperoleh tipe pompa sebagai berikut:

- Merek : HCP
- Tipe : F-31
- Daya : 750 Watt
- Debit maksimal : 300 L/min
- Total Head : 6,5 m (13 m max)

2) Perencanaan Bak Ekualisasi

Bak ekualisasi difungsikan meratakan beban air limbah domestik dari perumahan dan sebagai bak pengendap TSS. Unit ini direncanakan berbentuk persegi panjang dengan pengaliran dari bak ekualisasi ke unit berikutnya (SSFCW) menggunakan pemompaan. Adapun perhitungan bak ekualisasi menggunakan faktor pemakaian sebagai pembagian debit tiap jam dalam 1 hari, faktor pemakaian maks sebesar 1,5 dan faktor pemakaian terkecil 0,3. Berdasarkan faktor pemakaian tersebut diperoleh volume bak dengan waktu tinggal 2 jam.

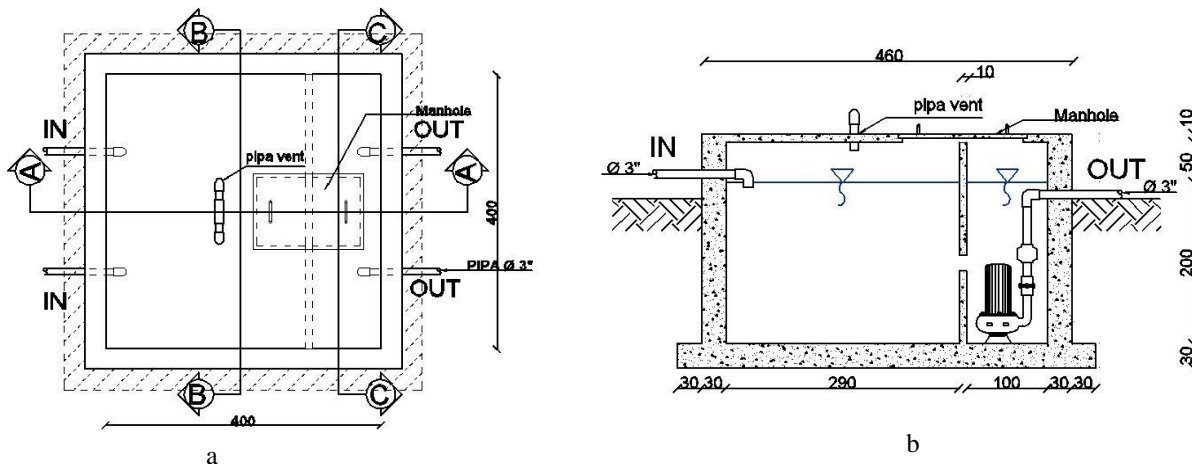
Pengaliran dari bak ekualisasi ke unit berikutnya menggunakan pompa dengan spesifikasi yang sama dengan pompa *feed*, karena nilai *head* statis yang lebih rendah dari sistem sebelumnya sehingga pompa dengan spesifikasi yang sama mampu untuk menyalurkan air ke unit berikutnya.

Dari seluruh perhitungan diperoleh dimensi bak ekualisasi dan spesifikasi pompa sebagai berikut:

- Dimensi bak ekualisasi:
 - Volume efektif : 32 m³
 - Luas efektif : 16 m²
 - Kedalaman air : 2 m
 - Ruang bebas : 0,5 m
 - Panjang efektif : 4 m
 - Lebar efektif : 4 m
- Spesifikasi pompa:
 - Merek : HCP
 - Tipe : F-31
 - Daya : 750 Watt

- Debit maksimal : 300 L/min
- Total Head : 6,5 m (13 m max)

Gambar denah dan potongan melintang bak ekualisasi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. (a) Denah Bak Ekualisasi; (b) Potongan A-A bak ekualisasi

3) Perencanaan Unit Subsurface Flow Constructed Wetland (SSFCW)

Unit *Subsurface Flow Constructed Wetland* (SSFCW) direncanakan berbentuk persegi panjang dan terbagi atas beberapa kompartmen. Pembagian kompartmen bertujuan untuk meratakan persebaran air dan memudahkan dalam perawatan unit SSFCW. Waktu detensi (*HRT*) di unit SSCW selama 3 hari. Tanaman yang digunakan pada unit adalah *cattail* dengan kerapatan penanaman dalam 1 m² terdapat 5 tanaman *cattail* [9]. Media yang digunakan pada unit ini terdiri dari *bioball* yang digunakan sebagai media melekatnya akar yang tercelup air limbah dan media *gravel* sebagai penyangga atas yang berfungsi menyangga sisi tanaman yang tidak tercelup air.

Berdasarkan perhitungan teoritis diperoleh spesifikasi unit SSFCW sebagai berikut:

- P kompartmen efektif : 520 m
- L kompartmen efektif : 3,25 m
- P bangunan efektif : 65 m
- L bangunan efektif : 26 m
- Kedalaman air : 1 m
- Freeboard : 0,5 m
- Volume media (*bioball*) : 1685 m³
- Volume media (*gravel*) : 843 m³

Gambar denah dan potongan melintang unit SSFCW dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7.

4) Perencanaan Unit Kolam Indikator

Unit bak penampung digunakan untuk menampung air olahan dari SSFCW sebelum dibuang ke badan air. Pada unit ini tidak terdapat pengolahan dan ditentukan waktu detensi pada kolam ini yaitu 0,01 hari. Maka, diperoleh dimensi kolam indikator sebagai berikut:

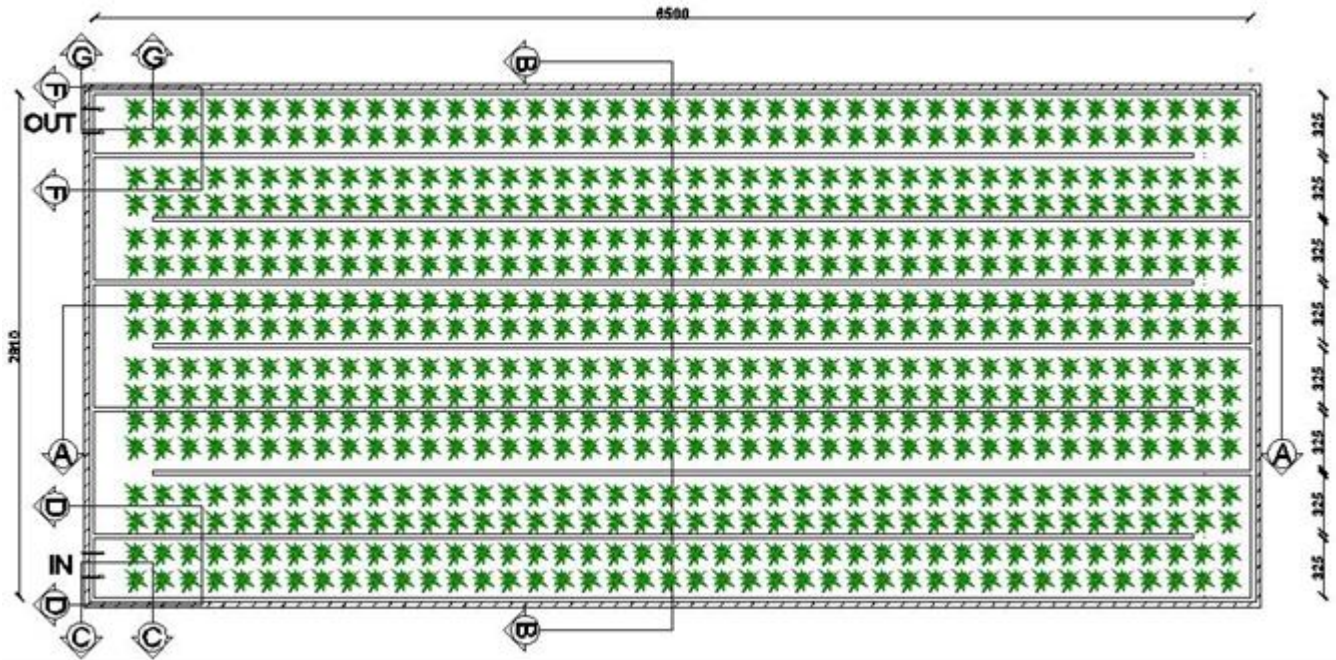
- Volume efektif : 5,7 m³
- Luas Efektif : 3,8 m²
- Kedalaman air : 1,5 m
- Jumlah unit : 2 unit
- Panjang tiap unit : 2 m
- Lebar tiap unit : 1 m
- Ketebalan tembok : 0,3 m
- Freeboard : 0,5 m

5) Perencanaan Sistem Pengaliran dan Profil Hidrolis

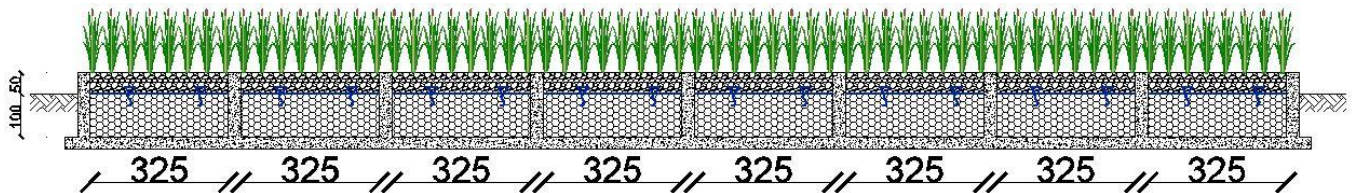
Sistem pengaliran antar unit menggunakan sistem saluran tertutup berupa pipa. Penentuan dimensi pipa ditentukan berdasarkan nilai *headloss* serendah mungkin namun dengan diameter pipa yang tidak terlalu besar, supaya tidak diperlukan nilai slope yang tinggi pada pipa dan mendapatkan pipa dengan harga seefisien mungkin. Perhitungan *headloss* meliputi perhitungan *headloss* mayor dan minor pada sistem IPAL. Adapun perhitungan seluruh *headloss* dalam sistem IPAL ditampilkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan *headloss* pada sistem IPAL

Segmen	HF mayor	Hf minor	Hf total
A1	0,10	0,65	0,74
A2	0,04	0,38	0,42
A3	0,03	0,15	0,18



Gambar 6. Denah unit SSFCW



Gambar 7. Potongan B-B unit SSFCW

V. RENCANA ANGGARAN BIAYA

Rencana anggaran biaya (RAB) digunakan untuk menentukan jumlah investasi yang diperlukan untuk pembangunan IPAL. RAB dihitung berdasarkan volume pekerjaan dan Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kota Surabaya tahun 2015 dikalikan volume pekerjaan. Hasil perhitungan RAB ditampilkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. RAB IPAL

No	Uraian Pekerjaan	Jumlah Harga
1.	Pekerjaan Persiapan	Rp 20.496.200
2.	Pekerjaan Beton dan Pasangan	Rp 3.128.594.249
3.	Pekerjaan Finishing	Rp 35.971.500
4.	Pekerjaan komponen penunjang IPAL	Rp 2.341.247.800
Total		Rp 5.526.309.749

VI. KESIMPULAN

Kesimpulan dari desain IPAL di perumahan SDR sebagai berikut:

1. Perencanaan IPAL di Perumahan SDR memerlukan lahan total sekitar 1800 m², terdiri atas bak ekualisasi (21 m²), SSFCW (1685 m²), dan kolam indikator (4 m²).
2. IPAL SSFCW memiliki efisiensi untuk mengolah COD, BOD, dan TSS masing sebesar 85%, 80%, dan 46%.

3. Perencanaan IPAL di Perumahan SDR memerlukan biaya total sebesar Rp 5.926.417.781,00.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Nurhidayat and J. Hermana, "Strategi Pengelolaan Air Limbah Domestik Dengan Sistem Sanitasi Skala Lingkungan Berbasis Masyarakat Di Kota Batu Jawa Timur," in *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi X Program Studi MMT-ITS*, 2009.
- [2] W. Gunawan and Suswati, "Pengolahan Limbah Domestik Dengan Teknologi Taman Tanaman Air (Constructed Wetlands)," *Indones. Green Technol.*, vol. 2, 2013.
- [3] Risnawati and Damanhuri, "Penyisihan Logam Pada Lindi Menggunakan Constructed Wetland," Bandung, 2009.
- [4] A. Toscano, "Modelling Pollutant Removal In A Pilot-Scale Two-Stage Subsurface Flow Constructed Wetlands," *Ecol. Eng.*, vol. 35, pp. 281–289, 2009.
- [5] N. C. S. Rai U.N. Tripathi R.D., Singh N.K., Upadhyay A.K., Dwivedi S., Shukla M.K., Mallick S., Singh S.N., "Constructed wetland as an ecotechnological tool for pollution treatment for conservation of Ganga river," *Bioresour. Technol.*, vol. 148, pp. 535 – 541, 2013.
- [6] T. V. A. Akratos Chritos S., Papaspyros John N.E., "An artificial neural network model and design equations for BOD and COD removal prediction in horizontal subsurface flow constructed wetlands," *Chem. Eng. J.*, vol. 143, pp. 96–110, 2009.
- [7] M. Jason, "Constructed Wetlands Technology Assessment and Design Guidance," 2007.
- [8] R. Sherwood and C., "Subsurface Flow Constructed Wetlands For WasteWater Treatment," 1993.
- [9] M. N. C. T. angustifolia L. Stevens, "Plant Symbol = TYAN. USDA, NRCS, National Plant Data Center c/o Department of Plant Sciences," 2006.